

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 930 630**

51 Int. Cl.:

G01R 31/12 (2010.01)

G01R 31/58 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2015** **E 15195425 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.08.2022** **EP 3029474**

54 Título: **Fibra alineada y unida dinámicamente a un cable eléctrico**

30 Prioridad:

19.11.2014 DE 102014116908

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
20.12.2022

73 Titular/es:

**AIQ DIENSTLEISTUNGEN UG
(HAFTUNGSBESCHRÄNKT) (100.0%)
Herrenberger Strasse 130
71034 Böblingen, DE**

72 Inventor/es:

Renuncia a mención

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 930 630 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Fibra alineada y unida dinámicamente a un cable eléctrico

La invención se refiere a un dispositivo y a un método para la detección de la descarga parcial en un cable eléctrico, así como a una colocación o montaje, a un elemento de software, a un medio lector de ordenador y a un método de uso.

5 Un problema de sistemas de cables de alto voltaje enterrados (por ejemplo, funcionado a un voltaje de al menos 10 kV, en general por encima de 110 kV o de 220 kV hasta de 500 kV o superior) es el efecto de una descarga parcial que puede destruir el cable eléctrico con el paso del tiempo.

10 Convencionalmente, la descarga parcial se mide eléctricamente, con sensores diferentes, como transductores de corriente, muestras de alta frecuencia y micrófonos de punto acústico ultrasónico.

15 La patente americana 5386 193 revela un dispositivo para la detección de la descarga parcial de un transformador moldeado a base de resina que tiene terminales de toma de conexión sin carga en un devanado de alto voltaje del mismo. Un amplificador amplifica la señal de detección periférica de un sensor de detección de la descarga parcial conectado entre los terminales de toma, y un convertidor electro-óptico convierte la señal de salida del amplificador en una señal óptica. La señal óptica se aplica a través de la fibra óptica a un convertidor opto-eléctrico donde es convertida en una señal eléctrica. La señal eléctrica se aplica a un indicador. El sensor de detección de la descarga parcial, el circuito amplificador, y el convertidor electro-óptico se mantienen a un potencial correspondiente a un potencial de los terminales de toma.

20 La patente americana 2005/0134837 A1 informa sobre un cable para detectar descargas parciales o cortocircuitos por arco en el cableado, cables a través de la fibra óptica. El cable para detectar las descargas parciales incluye un conductor para el transporte de las señales eléctricas, al menos una fibra óptica fluorescente para determinar la luz generada por una descarga parcial, y una primera capa transparente que rodea el conductor para soportar al menos una fibra óptica fluorescente paralela al conductor. Mediante el empleo de una fibra óptica fluorescente, la luz incidente generada por una descarga parcial a lo largo de la fibra óptica se transmitirá a través de la fibra óptica hasta un receptor óptico para determinar que se ha producido una descarga parcial.

30 La patente americana 2009/0102489 A1 revela un sistema sensorial distribuido para detectar la descarga eléctrica parcial a lo largo de la longitud de un objeto u objetos extendidos. Una fibra óptica que tiene un revestimiento o vaina integrado con material luminiscente y un núcleo de sílice de menos de 500 micrómetros de diámetro con un primer extremo deflector desplegado cerca para verificar objetos. En el segundo extremo de la fibra sensorial óptica se ha colocado un fotodetector que recibe y mide tanto una emisión directa de luz procedente de un evento de descarga eléctrica como la luz de emisión reflejada procedente del extremo de reflexión de la fibra sensorial óptica. Las señales medidas y sus tiempos de llegada se utilizarán para determinar el lugar y la magnitud de una descarga eléctrica parcial. Además, la patente americana 2009/0102489 A1, la patente JP 2000/298154 A, la patente americana 2013/222811 A, la patente americana 2005/134837 A1, la patente americana 2013/211726 A1, la JPH05223883, la JP 2010085366, la DE 102010 061 605 A1 y la patente americana 2014/211901 A1 revelarán diversos métodos de detección de la descarga parcial.

40 Resulta deseable detectar con antelación la descarga parcial, antes de que acorte o destruya el cable y localizar la situación exacta del evento de descarga parcial a lo largo del sistema de cableado.

45 Un objetivo de la invención consiste en facilitar la detección de la descarga parcial con una construcción simple y una elevada exactitud.

50 Para conseguir el objeto definido con anterioridad, se dispondrá de un dispositivo y de un método de detección de la descarga parcial en un cable eléctrico y de un método de uso conforme a las reivindicaciones independientes 1, 11 y 12, respectivamente.

55 El procesamiento de datos que se puede realizar conforme a las configuraciones de la invención se puede llevar a cabo mediante un programa de ordenador, es decir mediante un software, o bien utilizando uno o más circuitos de optimización electrónicos especiales, que se encuentren en el hardware, o en forma híbrida, es decir, por medio de los componentes de software y de los componentes de hardware.

60 En el contexto de la presente aplicación, el término “unidad determinante de la descarga parcial” puede denotar en particular un procesador (como un microprocesador o una unidad central de procesamiento, CPU) o parte de la misma capaz de determinar la información indicativa de la descarga parcial en base a un análisis de la señal detectada. Dicha unidad determinante de la descarga parcial puede actuar también como una unidad de control para controlar el funcionamiento del dispositivo.

En el contexto de la presente aplicación, el término “descarga parcial” puede denotar en particular un fenómeno en un cable eléctrico en el cual una corriente eléctrica que se propaga por el cable eléctrico experimenta distorsiones debido a los daños mecánicos entre el núcleo conductor eléctricamente y el revestimiento aislante eléctricamente del cable eléctrico, así como de los espacios huecos del cable eléctrico. Cuando solamente muy pocos y raros eventos de descarga parcial se producen en un cable eléctrico, esto no es peligroso y todavía aceptable. Sin embargo, si la intensidad y el número de eventos de descarga parcial en un cable eléctrico aumenta, el cable eléctrico necesita mantenimiento o reemplazo por un cable eléctrico nuevo. De acuerdo con una configuración a modo de ejemplo de la invención, el hecho es que los eventos de descarga parcial en un cable eléctrico también generan distorsiones de movimiento (en particular, vibracionales o acústicas) en un plano que rodea directamente al cable eléctrico. De ahí que, alineando una fibra óptica con el cable eléctrico y acoplando vibracionalmente el cable eléctrico a la fibra óptica mediante un enlace o unión mecánica de ajuste próximo o ceñido entre ambos, sea posible acoplar las distorsiones estructurales o mecánicas como una consecuencia de un evento de descarga parcial en el cable eléctrico en una zona asignada de la fibra óptica. Inyectando radiación electromagnética primaria en la fibra óptica y tomando muestras de la radiación electromagnética secundaria (que puede ser radiación electromagnética primaria retrodifundida, y/o puede experimentar la influencia de la propagación hacia delante e interferencia en los extremos) también influida de forma característica por las distorsiones mecánicas/estructurales de la fibra, inducidas por la descarga parcial, se puede determinar la información que caracteriza la intensidad y/o capacidad de frecuencia de los eventos de descarga parcial. Por consiguiente, el peligro del fracaso inminente del cable eléctrico se podrá detectar a su debido tiempo, de manera que todo ello permita a un técnico reemplazar el cable eléctrico o secciones del mismo, o bien realizar reparaciones, cuando dichos eventos de descarga parcial sean un problema.

El término “cable eléctrico” puede denotar en particular un cable conductor eléctrico al menos parcialmente, configurado para transportar y conducir una corriente eléctrica. La parte conductora eléctricamente del cable eléctrico puede estar hecha de un metal, por ejemplo.

El término “fibra” puede denotar en particular un elemento (en particular, un elemento o miembro optoelectrónico) capaz de guiar la radiación electromagnética para su propagación a lo largo de una vía definida a través de la fibra. Una fibra hecha, por ejemplo, de vidrio de sílice fundido que pueda ser capaz de transportar radiación visible e infrarroja. De ahí que, una fibra pueda significar una guía de ondas dieléctrica, al menos parcialmente transparente para la radiación electromagnética.

El término “acoplado dinámicamente” puede denotar el hecho de que el cable eléctrico y la fibra se hayan acoplado mecánicamente de forma suficientemente rígida de manera que los desplazamientos locales de secciones de cable eléctrico tengan una entrada mecánica directa a la fibra de tal forma que una sección correspondiente de esta última siga el movimiento mecánico del cable eléctrico. Dicho acoplamiento mecánico entre el cable eléctrico y la fibra debería ser fijo y duradero de manera que el acoplamiento mecánico se mantenga en todas las funciones de la colocación o instalación incluso en condiciones duras. En particular, un movimiento de un cable eléctrico sin fibra, o viceversa, incapacitará la región del sensor. Por consiguiente, el cable eléctrico preferiblemente debe estar íntimamente conectado a la fibra óptica.

El término “movimiento local” puede denotar en particular un movimiento o desplazamiento de una subparte corta del cable eléctrico con respecto al resto del cable eléctrico como un impacto de un evento con descarga parcial que se produzca en esta subparte. Por ejemplo, dicho desplazamiento local puede ser un curvado temporal de una parte del cable que experimente una fuerza temporal debido al evento de descarga parcial. Sin embargo, dicho desplazamiento local también puede ser un movimiento oscilante de esta subparte del cable eléctrico, por ejemplo, una vibración, en particular una onda acústica como un sonido.

El término “radiación electromagnética” puede denotar en particular, fotones de una longitud de onda adecuada capaz de propagarse a través de una fibra. La radiación óptica puede situarse en un intervalo entre 400 nm y 800 nm, es decir, puede encontrarse en la región visible. La radiación infrarroja que se utiliza para la detección de una descarga parcial puede situarse en un intervalo entre 800 nm y 5000 nm. Por ejemplo, 1550 nm es una longitud de onda de medición adecuada.

Las configuraciones a modo de ejemplo se basan en la consideración de que incluso fuerzas mecánicas (en particular vibracionales) pueden afectar a las fibras (como las fibras de vidrio, por ejemplo, hechas de cuarzo, en particular vidrio de cuarzo dopado) y son capaces de cambiar localmente las características de la transmisión lumínica en la fibra. Como resultado de la modificación de la luz en las fibras por la dispersión y los efectos relacionados, la localización de un efecto físico externo como la descarga parcial en un entorno directo (es decir, el cable eléctrico acoplado vibracionalmente) se puede determinar de manera que la fibra se pueda emplear como un sensor sensible a la vibración (en particular lineal). De ahí que, la descarga parcial genera una distorsión mecánica (en particular, acústica) en el cable eléctrico que se acopla mecánicamente (en particular, acústicamente) a la fibra. Este último acoplamiento se puede detectar luego midiendo el impacto de dichas distorsiones estructurales en la radiación electromagnética que se propaga por la fibra. En otras palabras, la distorsión estructural del cable eléctrico debida a los resultados de la descarga parcial en la distorsión estructural de la fibra como consecuencia del acoplamiento rígido en movimiento entre cable y fibra. La distorsión estructural local de la fibra, en cambio, tiene un

impacto en la onda electromagnética que se propaga a través de la fibra, lo cual se utiliza como una señal de detección. Por consiguiente, se puede detectar una información resuelta espacialmente con respecto a la descarga parcial (por ejemplo, cuando se inyectan impulsos de radiación electromagnética como muestras dentro de la fibra, y un periodo de medición del vuelo permite asignar una cierta parte de la radiación electromagnética secundaria a una sección espacial correspondiente de la fibra y por tanto una sección espacial asignada del cable eléctrico).

En las siguientes configuraciones ejemplo del dispositivo, se explicará el método, la disposición, el elemento de software, el medio lector de ordenador y un método de uso.

En una configuración, la unidad determinante de la descarga parcial se ha configurado para determinar espacialmente la información determinada indicativa de la descarga parcial en una cierta posición del cable eléctrico basada en una identificación de una cierta posición de la fibra a la que pertenece una porción detectada de la radiación electromagnética secundaria y en base a una información predeterminada sobre el mapeo de las posiciones del cable respecto a las posiciones de la fibra. Por ejemplo, se puede aplicar un periodo de tiempo de medición del vuelo cuando se inyecta la radiación electromagnética primaria en la fibra en forma de impulsos. Con dicho tiempo de medición de vuelo, cada parte de la radiación electromagnética secundaria se podrá asignar a una posición determinada de la fibra en la cual esta parte ha sido retrodifundida cuando se aplica DTS. Sin embargo, cuando se aplica DVS, se puede usar una señal de interferencia. Por lo tanto, se puede identificar en que posición de la fibra ha tenido lugar el evento de descarga parcial. Cuando adicionalmente se dispone de información de mapeo que asigna a cada posición de fibra una posición de cable correspondiente, también se puede identificar la sección del cable en la que ha ocurrida la descarga eléctrica. Cuando una única fibra se utiliza para servir a diferentes cables o diferentes secciones de cable (que pueden estar alineadas en paralelo una respecto a la otra, por ejemplo, en el escenario de un cable multifásico), este mapeo puede considerar también una alineación invertida de parte de la fibra. Esto se puede reflejar de forma ventajosa en la información sobre el mapeo (ver figuras 4 y 5). Por ejemplo, la información sobre el mapeo se puede almacenar como una mesa de mapeo.

En una configuración, el cable eléctrico es un cable de alta potencia (que funciona, por ejemplo, con un voltaje de al menos 10 kV, en general por encima de 110 kV o 220 kV hasta 500 kV) dispuesto o que se va a disponer como toma de tierra (en particular como cable enterrado o cable bajo tierra). Para dichos cables de potencia, el conocimiento de la información indicativa de la descarga parcial es de gran importancia, puesto que dicho tipo de cables tienden a dañarse a la vista de la descarga parcial. Al mismo tiempo, el conocimiento de una cierta posición del cable en la cual tienen lugar problemas de descarga parcial es de grandísima importancia, puesto que la reparación o sustitución de la sección dañada del cable eléctrico requiere desenterrar el cable eléctrico de la tierra. Por suerte, unas configuraciones de ejemplo proporcionan este tipo de información.

En una configuración, una instalación comprende un dispositivo (Distributed Acoustic Sensing, DAS o DVS, Distributed Vibration Sensing) con un sensor incorporado como una fibra. En otra configuración, se dispondrá un dispositivo que comprenderá (en particular DAS o DVS) un dispositivo con un sensor compuesto de múltiples (en particular, tres) fibras.

En una configuración, el dispositivo se ha configurado para detectar la descarga parcial en el cable eléctrico por Distributed Acoustic Sensing (DAS). Los eventos de descarga parcial generados por el sonido en las correspondientes posiciones del cable eléctrico pueden ser detectados acústicamente por DAS. Dicho aparato de medición DAS es especialmente apropiado para detectar, localizar, monitorizar y analizar la descarga parcial en los cables de energía eléctrica. DAS permite medir directamente la señal acústica en cualquier punto a lo largo de la fibra del sensor. Los componentes de frecuencia de la señal acústica están limitados únicamente debido a una velocidad de muestreo limitada (típicamente de hasta 1 kHz hasta 10 Hz, hasta de 100 kHz o superior) que depende de la longitud de la fibra del sensor. Las señales acústicas se pueden medir mediante el DAS con una repetición de 1000 mediciones para una fibra de 100 km hasta de 10000 mediciones por segundo para 10 km y se pueden analizar para eventos de descargas parciales. La repetición depende de la longitud de la fibra óptica total. Cuanto mayor sea la repetición, mejor es la resolución de tiempo, cuando la descarga parcial se produce en relación a la fase eléctrica. Cuando la señal eléctrica sigue una frecuencia de 50 Hz/60 Hz, un periodo es de 20 ms/16.67 ms. Una resolución de 1 ms es suficiente para conseguir una buena exactitud de posición del evento con respecto a la fase eléctrica. DAS se puede realizar con una fibra modal única o con una fibra multimodal. Un sistema de medición DAS puede funcionar con una única fibra que tenga un extremo abierto y que sea accionada desde un lateral únicamente.

En una configuración, el dispositivo se ha configurado para detectar la descarga parcial en el cable eléctrico mediante la Distributed Vibration Sensing (DVS). Incluso dicho aparato de medición DVS es especialmente apropiado para detectar, localizar, monitorizar y analizar la descarga parcial en los cables de energía eléctrica. De ahí que, la vibración inducida por el evento de descarga parcial en el cable eléctrico y transferida a la fibra óptica pueda ser detectada por DVS. DVS trabaja interferométricamente y es capaz de detectar señales acústicas con frecuencias de ultrasonido de hasta 500 kHz y más (por ejemplo, de hasta el intervalo de los MHz) con elevada exactitud. El DVS se puede efectuar realizando una medición continua (por ejemplo, sin el concepto de una velocidad de repetición). DVS puede funcionar por ejemplo con una velocidad de muestreo de hasta 100MHz o

incluso del orden de GHz. El DVS puede efectuarse con una fibra modal única o con una fibra multimodal. Un sistema de medición DVS puede funcionar con tres fibras que se puedan acoplar en una disposición en lazo (en particular, que implementa una de las fibras como una fibra posterior, y las otras dos fibras en una disposición interferométrica, comparar la figura 3).

En una configuración, el sistema DAS o DVS mide el sistema de cableado desde un lateral únicamente usando una fibra óptica insertada como un sensor. Más específicamente, la fuente de radiación electromagnética y el detector de radiación electromagnética, así como la unidad determinante de la descarga parcial pueden estar localizados adyacentes a un extremo de la fibra y se puede medir la radiación electromagnética secundaria como un resultado retrodifundido de la primera radiación electromagnética. Esto permite un diseño compacto y una construcción simple, puesto que únicamente un extremo de la fibra necesita ser accesible para la detección.

En una configuración, el dispositivo comprende una unidad determinante de la información sobre la temperatura configurada para determinar información sobre la temperatura a lo largo de una extensión del cable, en particular por Distributed Temperature Sensing (DTS). De ahí que, la información sobre la temperatura se pueda derivar en base a un análisis de la radiación electromagnética secundaria detectada por el detector de radiación electromagnético como respuesta a la radiación electromagnética primaria que está unida a una fibra estando al menos una parte de la misma alineada a lo largo del cable eléctrico. En el contexto de esta aplicación, el término "sensor de temperatura distribuida" puede denotar en particular un mecanismo de determinación de una distribución de la temperatura a lo largo de una extensión de una fibra óptica. Con esa finalidad, los impulsos de radiación electromagnética como la luz o la radiación infrarroja pueden ser inyectados en la fibra para interactuar con la fibra. Dependiendo de la temperatura local en las zonas específicas de una fibra, las propiedades de interacción radiación-materia y las propiedades de generación /aniquilación de fonones de esta parte de la fibra se verán modificadas de forma característica, y se podrá detectar un modelo de radiación electromagnética dispersada en un detector de un modo característico para la distribución de la temperatura. Por consiguiente, analizando la radiación electromagnética dispersada, es posible derivar información indicativa de la distribución de la temperatura a lo largo de la guía de onda y a la vista del acoplamiento íntimo dinámico entre fibra y cable, esta información sobre la temperatura también se puede asignar al cable.

En particular, una combinación de una medición de DTS por un lado y una medición DAS o DVS por otro lado en un sistema de cables de alto voltaje proporciona ventajas significativas. Resulta una ventaja combinar sinérgicamente el DAS o el DVS en base a la detección de la descarga parcial con una arquitectura de sensores de temperatura DTS de manera que además de la detección de la descarga parcial se pueda estimar una distribución de la temperatura a lo largo de la fibra óptica. Esto puede proporcionar información complementaria de manera que se facilite a un usuario la obtención de un interior más profundo en los efectos dentro del cable eléctrico.

En una configuración, el dispositivo consta además de una unidad de alarma, para proporcionar una alarma en base a la información indicativa de la descarga parcial. La información indicativa de la descarga parcial puede estar basada en un análisis de la señal detectada, donde la unidad determinante de la descarga parcial puede detectar la señal. Por ejemplo, el procesamiento de la señal se puede basar en los valores absolutos de los parámetros de la señal o bien en una velocidad de cambio en el valor medido o detectado del parámetro de la señal. En particular, la alarma dada puede ser un valor absoluto de alarma (es decir, el valor medido del parámetro de la señal puede ser mayor que un umbral de alarma dado) o quizás puede ser una velocidad de cambio del valor medido (es decir, el valor medido del parámetro de la señal aumentó más que un umbral de alarma dado dentro de un intervalo de tiempo predefinido). Más en particular, la alarma se puede basar en al menos uno de los parámetros de señal siguientes de la información determinada: una amplitud, una distancia, una anchura, una densidad y un valor de confianza.

En una configuración, al menos parte de la fibra usada para determinar la información indicativa de la descarga parcial y al menos parte de la fibra utilizada para determinar la información acerca de la temperatura son idénticas. De ahí que, una y la misma fibra física una sección de la fibra se pueda utilizar como muestra para ambos eventos de la descarga parcial, así como eventos de temperatura. Por lo tanto, se puede conseguir un diseño compacto del dispositivo. En dicha configuración, la medición de los eventos de descarga parcial por un lado y la de la información sobre la temperatura por otro lado se puede realizar subsiguientemente o secuencialmente. Para medir tanto los eventos de descarga parcial como la información sobre la temperatura a la vez, es preferible el uso de múltiples fibras en paralelo.

En una configuración, el dispositivo comprende una unidad indicadora de la carga máxima admisible en amperios configurada para evaluar la carga máxima admisible en amperios del cable eléctrico en base a la información sobre la temperatura determinada a lo largo del cable. Cuando se conoce la distribución de la temperatura a lo largo de la fibra y del cable, esto permite derivar la información indicativa de la carga máxima admisible en amperios del cable. De ahí que esta información pueda proporcionar un conocimiento o percepción significativo en el comportamiento de la carga máxima admisible en amperios del cable eléctrico. En particular, las fibras ópticas monomodo se pueden usar para redes de comunicación, pero también se pueden usar como sensores, por ejemplo, para controlar la temperatura a lo largo del cable por DTS. La medición de la temperatura se puede usar para calcular la temperatura

del conductor para evaluar la carga máxima admisible en amperios del cable en un sistema de gestión de los cables de potencia.

De acuerdo con la invención, la unidad determinante de la descarga parcial se ha configurado para determinar la información indicativa de la descarga parcial considerando exclusivamente el desplazamiento local inducido por la influencia de la descarga parcial inducida (como las vibraciones), en particular independientemente de la radiación electromagnética que puede ser generada en o alrededor del cable eléctrico debido a la descarga parcial. Por lo tanto, se puede evitar activamente que toda la radiación electromagnética que pueda ser también generada por los eventos de descarga parcial se una a la fibra óptica ya que esto podría influir en la radiación electromagnética introducida en la fibra para detectar las distorsiones estructurales basadas en la descarga parcial. De ahí que las configuraciones tipo ejemplo puedan impedir que la radiación electromagnética inducida por dicha descarga parcial se propague dentro de la fibra con el fin de obtener una exactitud elevada. En particular, al identificar eventos de descarga parcial mediante el reconocimiento de dibujos o modelos, se requiere radiación electromagnética secundaria no alterada. Por tanto, es una ventaja suprimir toda influencia de la radiación electromagnética generada por la descarga parcial con el fin de conseguir una exactitud elevada.

De acuerdo con la invención, el dispositivo o la instalación comprende un montaje protector para proteger la fibra de manera que incapacite la propagación de la radiación electromagnética generada en el cable eléctrico por la descarga parcial. En particular, este medio de blindaje consta de un revestimiento que rodea circunferencialmente al menos uno de los cables eléctricos y la fibra y es opaco para la radiación electromagnética. Este medio tiene la ventaja de que impide que se deteriore la exactitud de la detección de los eventos de descarga parcial por un análisis de las muestras de radiación electromagnética unidas a la fibra. Impidiendo asimismo que la radiación electromagnética se propague al interior de la fibra óptica, lo que dificultaría la distinción entre las diferentes clases de radiaciones electromagnéticas con diferentes modelos o dibujos en las señales de detección, y por tanto aumenta la precisión de los resultados en términos de la información respecto a la descarga parcial.

Más específicamente, este medio de protección se puede haber configurado específicamente para incapacitar la radiación electromagnética generada en el cable eléctrico durante el evento de descarga parcial y que tiene una frecuencia de alrededor de $\pm 10\%$ de la frecuencia de edición de la radiación electromagnética primaria inyectada en la fibra. Por ejemplo, cuando la frecuencia de medición (es decir, la frecuencia de la radiación electromagnética primaria) es de 1550 nm, el medio de protección puede hacerse selectivamente transparente a esta frecuencia y en un intervalo alrededor de la misma (por ejemplo, en la región próxima a la infrarroja). Mientras que la radiación electromagnética generada durante la descarga parcial y que tiene valores de frecuencia que se alejan bastante de la frecuencia de medición de la radiación electromagnética primaria no alteran la medición a base de fibras y no es preciso que se evite necesariamente su propagación por dentro de la fibra, la radiación electromagnética inducida por la descarga parcial próxima a la frecuencia de medición tiene una capacidad significativamente superior para alterar la determinación de la descarga parcial y puede por lo tanto protegerse de la fibra de medición mediante un revestimiento no transparente o bien algo similar.

En una configuración, la unidad de determinación de la descarga parcial se ha configurado para determinar la información posicional indicativa de una posición a lo largo del cable eléctrico en el cual se ha producido el evento de descarga eléctrica. Por consiguiente, se puede determinar la información obtenida espacialmente con respecto al evento de descarga parcial. Por ejemplo, se puede determinar, en base al periodo de tiempo de medición del vuelo de la radiación electromagnética primaria que se convierte en radiación electromagnética secundaria por la aparición de eventos de descarga parciales. Por consiguiente, un pico de descarga parcial en una cierta posición en un cable eléctrico largo, por ejemplo, que va en paralelo a una tubería o a través de un túnel, o que transmite datos o energía eléctrica a tierra, puede estar situado precisamente de manera que secciones individuales del cable eléctrico que necesitan ser intercambiadas puedan ser ubicadas precisamente con esta información. Esto simplifica de forma significativa la identificación de una o más porciones dañadas del cable eléctrico.

En una configuración, la unidad de determinación de la descarga parcial se ha configurado para determinar la información indicativa de la descarga parcial en base a un análisis modelo de uno o más rasgos de la radiación electromagnética secundaria. En dicha configuración, se pueden comparar los modelos preconocidos, premedidos o premodelados de los rasgos de la radiación electromagnética secundaria en el evento de la descarga parcial, mediante los procedimientos de reconocimiento modelo, con rasgos de la señal de detección. Por lo tanto, incluso una señal ruidosa se puede evaluar con éxito. El reconocimiento modelo en términos de determinación de la descarga parcial mejora de forma significativa la fiabilidad y reproducibilidad de los resultados de la medición.

En una configuración, la unidad de determinación de la descarga parcial se ha configurado para determinar la información indicativa de una distancia temporal entre los subsiguientes eventos de descarga parcial en una cierta posición del cable eléctrico y de la fibra. Resulta que se trata de una medida significativa del grado de peligro de una lesión completa del cable eléctrico, de con que frecuencia los eventos de descarga parcial eléctrica tienen lugar en una cierta posición en el dominio del tiempo. Por lo tanto, una distancia de tiempo medio entre dos eventos de descarga parcial subsiguientes se podrá determinar de un modo resuelto espacialmente.

En una configuración, se ha configurado la unidad de determinación de la descarga parcial para determinar la información indicativa de una duración temporal de un evento de descarga parcial en una cierta posición del cable eléctrico y de la fibra. También se ha descubierto que la duración de un evento de descarga parcial único proporciona información significativa con respecto al grado de peligro que el cable eléctrico padecerá pronto en una cierta posición espacial.

En una configuración, el dispositivo comprende una unidad de decisión configurada para tomar una decisión y elaborar una decisión dependiendo de la distancia temporal determinada y/o de la duración temporal determinada, dependiendo muy preferiblemente de una combinación de ambas. Por ejemplo, la información preconocida o predeterminada o premodelada acerca de una probabilidad de un fallo potencial del cable eléctrico dependiendo de la distancia entre eventos subsiguientes de descarga parcial y la duración de un evento de descarga parcial en el dominio tiempo se puede comparar con los datos obtenidos en ese momento. En base a esto, se puede tomar una decisión que tenga efectos en los eventos de descarga parcial. Es decir, cuando la información predeterminada con respecto a la descarga parcial cae en una primera categoría (por ejemplo, la duración temporal se sitúa por debajo de cierto valor umbral y/o la distancia temporal está por encima de cierto valor umbral), la decisión puede ser que no se tome ninguna acción puesto que el cable eléctrico todavía es utilizable. Cuando la información determinada con respecto a la descarga parcial cae en una segunda categoría (por ejemplo, que la duración temporal está por encima del valor umbral antes mencionado, pero por debajo de otro cierto valor umbral y/o la distancia temporal está por debajo del valor umbral mencionado, pero por encima de un cierto valor umbral), la decisión puede ser que la salida sea un aviso que indique que el cable eléctrico todavía es utilizable, pero se acerca a un estado crítico. Cuando la información determinada con respecto a la descarga parcial cae en una tercera categoría (por ejemplo, la duración temporal está por encima de otro valor umbral antes mencionado y/o la distancia temporal está por debajo del valor umbral antes mencionado o de otro valor umbral), la decisión puede ser que un sistema que incluya el cable eléctrico automáticamente se desenchufe por motivos de seguridad.

En una configuración, la fibra se dispondrá por separado del cable eléctrico. De ahí que el cable eléctrico y la fibra óptica puedan ser separables y los componentes separables se puedan montar, desmontar o reemplazar por separado uno de otro. Dicha fibra óptica puede estar dotada de un medio de acoplamiento configurado para unir de forma íntima la fibra óptica al cable eléctrico durante la detección de la descarga parcial. Tomando esta medida, se puede utilizar y seleccionar una fibra óptica que tenga propiedades óptimas para un cierto cable eléctrico. Esta configuración permitirá también el retroajuste de un cable eléctrico ya existente con una instalación de detección de la descarga parcial.

En otra configuración, tanto la fibra como el cable eléctrico están embebidos en una vaina común. De acuerdo con dicha configuración preferida, el cable eléctrico y la fibra óptica forman una estructura integral, por ejemplo, forman parte de una disposición de cable más largo. Dicha disposición del cable puede tener una envuelta exterior, por ejemplo, por ejemplo, de plástico, en la cual al menos el cable eléctrico y la fibra óptica puedan estar intercalados además de forma opcional con otros componentes eléctricos y/o electroópticos. Por ejemplo, dicha estructura integral se puede enterrar en tierra y así transmitir datos y/o energía por distancias largas. En dicha configuración, el cable eléctrico que transporta la corriente está equipado de algún modo con una fibra óptica que se puede utilizar también sinérgicamente para determinar la información de la descarga parcial. Por ejemplo, un cable de potencia eléctrica de alto voltaje se puede fabricar con múltiples fibras ópticas intercaladas en el aislamiento exterior y unidas al cable o colocadas en el centro de un trébol o de otras configuraciones para cable. Así pues, se pueden utilizar los cables moldeados integralmente, sin el esfuerzo adicional del hardware, como una fibra sensorial para detectar la descarga parcial. Dicha disposición de cable integrado con cable eléctrico y fibra moldeados integralmente proporciona un contacto íntimo entre el cable eléctrico y la fibra que es muy ventajoso para una transferencia de movimiento preciso desde el cable eléctrico por dentro de la fibra.

En una configuración, la fibra se unirá acústicamente al cable eléctrico. Unido acústicamente significa en este contexto que las ondas acústicas son activadas desde la propagación del cable eléctrico por dentro de la fibra óptica. Las ondas acústicas pueden equivaler a ondas mecánicas longitudinales. EN particular, las ondas acústicas pueden ser ondas mecánicas en un intervalo de longitud de onda audible, es decir, el sonido. El sonido generado en y alrededor de un cable eléctrico como respuesta a un evento de descarga parcial ha resultado ser una señal detectable en la fibra, para determinar la información de la descarga parcial con elevada exactitud.

En una configuración, la fibra es una fibra monomodal. Resulta que las fibras monomodales disponen de mejores resultados en lo que se refiere a la detección de la información referente a la descarga parcial en un cable eléctrico que las fibras multimodales.

En una configuración, el cable eléctrico es un cable multifásico que tiene múltiples sub cables, asignados cada uno de ellos a una fase respectiva, y se dispone de múltiples fibras, donde al menos una parte de cada una de las múltiples fibras está alineada a lo largo de uno de los sub cables. Por ejemplo, el cable eléctrico puede comprender tres fases, y para cada fase se dispone de una fibra óptica determinada para controlar los eventos de descarga parcial.

En otra configuración, el cable eléctrico es un cable multifásico que tiene múltiples sub cables asignados cada uno de ellos a una fase respectiva, y se dispone de una fibra única, donde cada una de las múltiples secciones de la fibra única se ha alineado a lo largo de uno de los sub cables respectivos. El término "sección de la fibra" puede indicar en particular una parte física de la fibra a lo largo de la cual se puede propagar la radiación electromagnética. Por ejemplo, el cable eléctrico puede comprender tres fases, y para cada fase se ha dispuesto una sección correspondiente a una y misma fibra óptica para controlar los eventos de descarga parcial. Este dispone de una construcción especialmente compacta de la instalación y una elevada resistencia contra fallos.

Los aspectos definidos con anterioridad y otros aspectos de la invención quedan patentados a partir de los ejemplos de la configuración que se describen seguidamente y son explicados con respecto a estos ejemplos de la configuración.

La invención se ha descrito con más detalle a continuación con respecto a los ejemplos de la configuración, pero sin limitarse solamente a ellos.

Figura 1 a figura 5 ilustran disposiciones con un dispositivo para una detección a base de fibra de la descarga parcial en un cable eléctrico conforme a una configuración ejemplo de la invención.

Figura 6 ilustra un diagrama que muestra una dependencia temporal de una señal detectada por un sensor a base de fibra óptica de un dispositivo conforme a una configuración ejemplo como respuesta a un evento de descarga parcial en un cable eléctrico en una conexión mecánica funcional con la fibra óptica.

La ilustración en el dibujo es de tipo esquemático. En distintos dibujos, se dispone de elementos similares o idénticos con los mismos signos de referencia.

Figura 1 ilustra una disposición 150 que comprende un dispositivo 100 para detectar la descarga parcial en un cable eléctrico 102, conforme a una configuración ejemplo de la invención.

Además del dispositivo 100, la disposición 150 comprende el cable eléctrico 102 (aquí como cable de potencia) y una fibra 110 (aquí como una guía onda, en particular una fibra monomodal óptica) que está alineada a lo largo y unida vibracionalmente al cable eléctrico 102. Esto significa que cualquier vibración que se produce en una sección del cable eléctrico 102 da lugar inmediatamente a una vibración correspondiente de una sección yuxtapuesta de la fibra 110 que está alineada a la sección vibracional del cable eléctrico 102. Con esta finalidad, se garantiza que el cable eléctrico 102 y la fibra 110 están unidas mecánicamente de forma rígida una a la otra, pero al mismo tiempo están libres para vibrar o realizar cualquier tipo de movimiento en respuesta a una vibración correspondiente o estímulo de movimiento. Tanto la fibra 110 como el cable eléctrico 102 están intercalados de forma ventajosa dentro de una vaina o revestimiento 152, formando con ello un cable integral adecuado por ejemplo como cable a tierra. De ahí que el usuario tenga que manipular únicamente un único componente, y al mismo tiempo se garantice el mantenimiento duradero del acoplamiento vibracional entre la fibra 110 y un cable eléctrico 102. Garantizando con ello una exactitud elevada en la detección de la descarga parcial.

El dispositivo 100 comprende una fuente de radiación electromagnética 104 (aquí representada por un láser) configurada para generar radiación electromagnética primaria coherente monocromática 106 (por ejemplo, luz óptica) que se unirá a la fibra 110. En particular, la fuente de radiación electromagnética 104 puede ser controlada por una unidad de control, que se ha representado aquí como unidad determinante de la descarga parcial 112, para emitir la radiación electromagnética primaria 106 de acuerdo con una característica predefinida, por ejemplo, en forma de impulsos. Cuando se inyecta dicha radiación electromagnética primaria generada 106 en la fibra 110 en un estado de conexión correspondiente de una conexión óptica 188, se propaga a través de la fibra 110 y experimenta la interacción con la fibra 110 de manera que la radiación electromagnética primaria 106 se dispersa. Esa retrodispersión o retroesparcimiento de la radiación electromagnética primaria 106 resulta en una propagación de la radiación electromagnética secundaria 108 generada en la dirección opuesta, es decir, de vuelta hacia la conexión 188 (que preferiblemente tiene un tiempo de conexión breve) Como una alternativa a la conexión óptica 188, es también posible y en algunas configuraciones preferible implementar un circulador (ver número de referencia 204 en la figura 2) que sea capaz, al mismo tiempo, de redirigir la radiación electromagnética desde la fuente de radiación electromagnética 104 por dentro de la fibra 110, y desde la fibra 110 hacia el detector de radiación electromagnética 114. Además, un multiplexor (WDM) por división de longitud de onda, que aquí no aparece, se puede utilizar (es decir, un acoplador que permite conducir una señal a múltiples dispositivos que funcionan a diferentes longitudes de onda).

Tal como se ha descrito a continuación con más detalle, también las vibraciones y otra clase de movimiento de la fibra óptica 110 tienen una influencia en la característica de la radiación electromagnética secundaria 108. En un estado determinado de conexión de la conexión óptica 188, se puede detectar la radiación electromagnética secundaria de forma característica en forma de vibraciones (en particular las procedentes de los eventos de descarga parcial en el cable eléctrico 102) mediante un detector de radiación electromagnético 114 (como un fotodiodo). El detector de radiación electromagnética 114 se ha configurado aquí para detectar radiación electromagnética secundaria 108 generada en la fibra 110 como respuesta a la unión de la radiación

electromagnética primaria 106 a la fibra 110 y a la influencia de las vibraciones inducidas por la descarga parcial en el cable eléctrico 102, uniéndose dichas vibraciones a la fibra 110 como una consecuencia del montaje fibra-cable rígido, pero mutuamente desplazable.

5 La unidad de determinación 112 de la descarga parcial, representada por un procesador, por ejemplo, se ha configurado para determinar la información indicativa de la descarga parcial que puede producirse en el cable eléctrico 102 en base a un análisis de la radiación electromagnética secundaria influenciada vibracionalmente 108 detectada por el detector de radiación electromagnética 114.

10 Tanto el cable eléctrico 102 como la fibra 110 comprenden un revestimiento respectivo 116 que ópticamente es transparente o bien opaco para la radiación electromagnética, al menos en el intervalo de longitudes de onda en las cuales el detector de radiación electromagnética 114 es sensible. El motivo de ello es que cualquier radiación electromagnética artificial que pueda ser generada por un evento de descarga parcial (ver número de referencia 155) en el cable eléctrico 102 no se puede propagar a través de los revestimientos opacos 116 (más precisamente
15 opacos a la longitud de onda de medición, es decir, la longitud de onda de la fibra 110 y por tanto se le impide que influya en la señal detectada por el detector de radiación electromagnética 114. Aunque el origen de dicha radiación electromagnética es asimismo que se detecte un evento de descarga parcial En el cable eléctrico 102, el modelo de dicha radiación electromagnética puede ser diferente de un modelo en la radiación electromagnética secundaria 108, cuyo modelo resulte de un impacto vibracional de un evento de descarga parcial en el cable
20 eléctrico 102 en la fibra 110. De ahí que, los revestimientos opacos 116 aumenten la exactitud y fiabilidad de la detección de descarga parcial.

La unidad determinante 112 de la descarga parcial se ha configurado para determinar la información indicativa de la descarga parcial en base a un análisis del modelo de los rasgos de la radiación electromagnética secundaria 108.
25 Con esta finalidad se puede analizar la radiación electromagnética secundaria 108 para identificar la presencia o ausencia de ciertas características o rasgos preconocidos (es decir, modelos) de radiación electromagnética detectada en presencia de un evento de descarga parcial. Dicho reconocimiento del modelo puede comprender la identificación de formas esperadas de partes de la señal de detección que se puedan asignar a un evento de
30 descarga parcial. Sin embargo, dicho reconocimiento de modelo puede comprender además o alternativamente la identificación de ciertos parámetros de la señal de detección que puedan incluir información asimismo valiosa en términos de descarga parcial. Dichos parámetros pueden incluir, por ejemplo, un intervalo de tiempo característico (por ejemplo, medio) entre dos eventos de descarga parcial seguidos en una cierta posición de la fibra 110 y/o una duración de un cierto evento de descarga parcial (ver en particular la figura 6).

35 El dispositivo 100 comprende además una unidad que determina la información sobre la temperatura 118 configurada para determinar la información sobre la temperatura a lo largo de una extensión del cable eléctrico 102 mediante Distributed Temperature Sensing (DTS) basado en un análisis de otra radiación electromagnética 122 secundaria detectada en respuesta a la radiación electromagnética primaria 120 que se va a unir o acoplar a otra
40 fibra 170 que asimismo está alineada a lo largo del cable eléctrico 102. En la configuración mostrada, la otra fibra 170 es diferente de la fibra 110 de manera que la determinación de la información acerca de la temperatura a través de la otra fibra 170 y la determinación de la información relacionada de la descarga parcial a través de la fibra 110 puede llevarse a cabo de forma simultánea y sin riesgo de una comunicación cruzada no deseada. Para obtener un dispositivo compacto especial 150, es asimismo posible una y la misma fibra 110 tanto para la detección de la
45 descarga parcial como para la detección de la temperatura.

El dispositivo 100 comprende además una unidad indicadora de la carga máxima admisible en amperios 124 configurada para la indicación de la carga máxima admisible en amperios del cable eléctrico 102 en base a la información determinada sobre la temperatura a lo largo del cable eléctrico 102. Dicha unidad indicadora de la carga
50 máxima admisible en amperios 124 permite extender la funcionalidad del dispositivo 150 a un sistema de monitoreo del cable de potencia.

El dispositivo 100 comprende además una unidad de decisión 128 configurada para tomar (y salir a una unidad de entrada/salida 161) una decisión que dependa del resultado de la determinación de información sobre la descarga parcial. Dicha decisión puede ser un aviso para un usuario de que el cable eléctrico 102 debería cambiarse
55 parcialmente o en su totalidad a la vista de una acumulación de eventos de descarga parcial. Otra decisión puede ser una desactivación de un sistema técnico (como un sistema de transmisión energética o un sistema de transmisión de datos) que comprenda el cable eléctrico 102 cuando los eventos de descarga parcial han alcanzado tal intensidad que existe un peligro visible de fallo del sistema técnico.

60 El funcionamiento del dispositivo 150 conforme a la figura 1 es el siguiente: Una corriente eléctrica 157 fluye por un núcleo conductor eléctricamente del cable eléctrico 102. Tal como indica el número de referencia 155, puede ocurrir que los eventos de descarga parcial 155 ocurran a lo largo del cable eléctrico 102, en particular poco antes de que termine el ciclo de vida del cable eléctrico 102. El evento de descarga parcial 155 induce a la vibración (lo que incluye vibración acústica) y a la generación de radiación electromagnética, en particular luz. Debido a la propiedad
65 opaca o no transparente del revestimiento 116 tanto del cable eléctrico 102 como de la fibra óptica 110, la radiación

electromagnética generada es inhibida de propagarse por la fibra óptica 110. Sin embargo, las vibraciones o bien ondas acústicas pueden unirse a la fibra óptica 110 gracias al acoplamiento vibracional entre el cable eléctrico 102 y la fibra 110 que empieza a oscilar y pasa a ser sometido por las ondas acústicas. La radiación electromagnética primaria 106 acoplada en la fibra óptica 110 se ve influenciada por estas vibraciones y/o ondas acústicas que están unidas a la fibra 110 como consecuencia del contacto íntimo entre el cable eléctrico 102 y la fibra óptica 110. Por lo tanto, la radiación electromagnética secundaria 108 que se propaga a través de la fibra 110 procede de una interacción entre la radiación electromagnética primaria 106 y las ondas acústicas/vibratoriales inducidas. Tras la reflexión/retrogeneración de la radiación electromagnética, y tras conectar la conexión óptica 188, el detector de radiación electromagnética 114 detecta la radiación electromagnética secundaria 108. En base al reconocimiento de modelo antes descrito, se identifican los modelos de señal que retroceden al evento de descarga parcial 155 mediante la unidad de determinación de la descarga parcial 122. Al mismo tiempo, la unidad determinante de la información sobre la temperatura 118 determina la distribución de la temperatura a lo largo del cable eléctrico 102 y aporta esta información a la unidad de decisión 128.

Cuando la radiación electromagnética primaria 106 es inyectada en la fibra óptica 110 en forma de impulsos, se puede derivar información resuelta espacialmente con respecto a la localización en la cual se produce un evento de descarga parcial. Dependiendo del cálculo del tiempo de vuelo de una radiación electromagnética entre ser inyectada en la fibra 110 como radiación electromagnética primaria 106 y la detección de una cierta porción de radiación electromagnética secundaria 108 por el detector de radiación electromagnética 114, se puede decidir en que parte/posición de la fibra 110 se ha retrodispersado la porción respectiva. Cuando dicha porción incluye un modelo indicativo de un evento de descarga parcial, se puede concluir que el evento de descarga parcial ha tenido lugar en la posición determinable en la cual se ha retrodispersado la porción.

La figura 2 ilustra una disposición 150 con un dispositivo 100 para detectar la descarga parcial en un cable eléctrico 102 mediante el Distributed Acoustic Sensing (DAS) conforme a la configuración modelo de la invención.

En la configuración de la figura 2, un generador de impulsos 200 es controlado por la unidad determinante de la descarga parcial 112 para generar impulsos, los cuales, por turnos son utilizados para controlar una fuente de radiación electromagnética 104, presentada aquí como un diodo laser, para emitir impulsos de radiación electromagnética. Estos impulsos son amplificados en un amplificador óptico 202 (que puede presentarse como un amplificador de fibra dopado con erbio, EDFA) y son acoplados, a través de un circulador óptico o interruptor 204, como radiación electromagnética primaria 106 en la fibra óptica 110 que actúa como fibra sensorial. Asimismo, un multiplexor (WDM) por división de longitud de onda puede colocarse aparte del circulador. La propagación de la radiación electromagnética primaria 106 a través de la fibra óptica 110 causa, por dispersión y efectos relacionados, la generación de una radiación electromagnética secundaria 108 que se propaga hacia atrás a través de la fibra óptica 110. La radiación electromagnética secundaria 108 es guiada a una posición de conexión apropiada del conector óptico 204, hacia un detector de radiación electromagnética 114, por ejemplo, presentado como un fotodiodo (como un diodo positivo intrínseco negativo (PIN) o bien un fotodiodo de avalancha, APD). En el detector de radiación electromagnética 114, la señal óptica se convierte en una señal eléctrica que es amplificada posteriormente por un amplificador 206. Un conversor de señal analógica a digital 208 convierte la salida de la señal eléctrica analógica en una señal digital mediante el amplificador 206. La unidad determinante de la descarga parcial 112, basada en su señal de control suministrada a la unidad generadora del impulso 200 y basada en la señal de detección digital recibida por el conversor de señal analógica a digital 208, genera entonces información indicativa de la descarga parcial.

La figura 3 ilustra una disposición 150 con un dispositivo 100 para detectar la descarga parcial en un cable eléctrico 102 por Distributed Vibration Sensing (DVS) conforme a otra configuración ejemplo de la invención.

La unidad determinante 112 de la descarga parcial (que puede presentarse como una FPGA, matriz de puertas lógicas programables en campo) controla la fuente de radiación electromagnética 104 como un láser, para emitir radiación electromagnética que es manipulada en un mezclador de polarización 308. La radiación electromagnética manipulada es inyectada luego en la fibra óptica 110. La figura 3 indica de forma esquemática que la fibra óptica 110 dispone de un cable conductor inactivo en la sección 310 y de una sección sensorial real 312. Para mayor simplicidad, el cable eléctrico 102, que forma parte de la disposición 150 conforme a la figura 3, y que está unido íntimamente a la fibra óptica 110 y alineado a ella, no se muestra en la figura 3. Una porción de la radiación electromagnética que no se propaga por la sección sensorial 312 es detectada en un primer detector 314 (como un detector de Michelson). Otra porción de la radiación electromagnética que se propaga a través de la verdadera sección sensorial 312 es detectada en un segundo detector 316 (como un detector Mach-Zehnder). Las señales detectadas respectivas pasan por un filtro respectivo 318, 320 (como un filtro paso bajo), son digitalizadas en un conversor de señal analógico a digital 208 y son analizadas interferométricamente y comparadas en la unidad determinante de la descarga parcial 112 para derivar la información indicativa de las partes o de los eventos de descarga en el cable eléctrico 102 (no mostrados). El resultado de la detección de la descarga parcial puede ser la salida a un usuario a través de la unidad de entrada/salida 161.

La figura 4 ilustra una disposición 150 con un dispositivo 100 para detectar la descarga parcial en un cable eléctrico 102 conforme a otra configuración ejemplo de la invención.

El cable eléctrico 102 es aquí un cable trifásico que tiene tres sub cables (ver A, B, C) asignados cada uno de ellos a una fase respectiva, y se dispone de una única fibra plegada 110, donde cada una de las tres secciones de la fibra única 110 está alineada a lo largo de un cable de los tres sub cables respectivos (ver A, B, C). La figura 4 ilustra como diferentes secciones de una fibra óptica 110 se pueden alinear a lo largo de diferentes unidades fásicas A,B y C del cable eléctrico 102. El número de referencia 400 ilustra las posiciones de conexión en las cuales se han conectado diferentes partes del cable unas a otras.

La posición de los eventos dentro de la fibra óptica 110 se contrasta con la posición a lo largo del cable 102 mediante un esquema de mapeo, que muestra la distancia óptica a la fase eléctrica. Un rasgo característico de este mapeo es el cambio de dirección en la parte intermedia de la fibra 110. Esto se muestra en la tabla 1:

Tabla 1: mapeo o croquis entre la posición de la fibra y la posición del cable

Fibra (m)	Cable eléctrico (m)
50-550	A: 0-500
560-1060	B: 500-0 (inversión)
1070-1570	C: 0-500

La figura 5 ilustra una disposición 150 con un dispositivo 100 para detectar la descarga parcial en un cable eléctrico 102 conforme a la configuración ejemplo de la invención. Un bloque 550 puede ser por ejemplo un dispositivo DAS (ver por ejemplo figura 2) o un dispositivo DVS (ver por ejemplo figura 3). Se dispone también de una unidad DTS (ver número de referencia 118).

Conforme a la figura 5, la fibra 110 se utiliza para determinar la información indicativa de la descarga parcial y se usa para determinar la información sobre la temperatura. Por lo tanto, la figura 5 ilustra por un lado la combinación de DTS para la unidad indicadora de la carga máxima admisible en amperios/sensor de la temperatura y por otro lado la DAS/DVS para la determinación de la descarga parcial.

En muchos casos, la relación con la fase eléctrica es desconocida, pero quizás no sea necesaria. Opcionalmente, un sensor eléctrico adicional (no mostrado) se puede usar para medir la fase eléctrica.

La fibra óptica 110 abarca los tres sub cables de las tres fases del circuito del cable de potencia. Debido a que las tres secciones de fibras deben ser medidas al mismo tiempo, se utilizan las tres unidades DAS o DVS, lo que frecuentemente no es eficiente. La fibra óptica 110 de los tres sub cables diferentes puede estar unida o empalmada junta de manera que formen un sensor a lo largo de cada fase del sistema de cableado, siempre que la longitud de una fase no exceda una tercera parte del margen de medición del aparato de medición. De este modo el sistema de cableado puede ser controlado usando una unidad DAS o DVS con las tres fases de medición al mismo tiempo.

La figura 6 ilustra un diagrama 600 que muestra una dependencia temporal de una señal detectada por un sensor a base de fibra óptica de un dispositivo 100 conforme a una configuración ejemplo en respuesta a un evento de descarga parcial en un cable eléctrico 102 en una conexión funcional con la fibra óptica 110.

El diagrama 600 tiene una abscisa 602 a lo largo de la cual se representa el tiempo. A lo largo de una ordenada 604, se representa una señal de detección por el dispositivo 100. Como se puede deducir de la figura 6, un evento de descarga parcial 610 tiene lugar con un ancho w en la escala de tiempos. Además, se puede determinar una distancia d entre dos eventos de descarga parcial seguidos 610, 612. Estos parámetros en combinación son indicativos de una necesidad o no necesidad de mantener o reemplazar un cable eléctrico 102 en el cual se producen los eventos 101, 102 de descarga parcial.

Los eventos de descarga parcial detectados han sido evaluados estadísticamente donde y como se producen y descartan para dar una lectura como pulsos por segundo (pps) como una medida de la descarga parcial. La distancia temporal d y la fuerza de la señal de estos eventos son también medidas de la fuerza de la descarga parcial. Otra medida es el ancho w de la señal de descarga parcial dentro del periodo del voltaje,

La distancia d en un cable eléctrico 102 en buena condición es de alrededor 9ms a 10 ms. Si la distancia d desciende por debajo de 5ms, se genera una alarma. Si la distancia d es inferior a 2ms, el sistema puede acabar en avería.

Una visualización del sistema de medición de cables puede recoger estos resultados de la medición online y guardarlos en una base de datos, mostrando tendencias y dando una alarma o prealarma, sin se excede un cierto nivel de descarga parcial.

5 Cuando se lleva a cabo un método de detección de la descarga parcial en un cable eléctrico 102 conforme a una configuración ejemplo o cuando se programa un hardware conforme a una configuración ejemplo, un algoritmo para dicho sistema conforme a una configuración ejemplo se puede resumir del modo siguiente: Cuando el dispositivo 100 se ha configurado para funcionar conforme a DAS, el dispositivo 100 genera datos de intensidad frente a distancia para la fibra óptica 110:

- a) Detección de la señal en la posición x_i
- b) Control de la posición de x_i durante un tiempo (por ejemplo, en el margen de milisegundos)
- c) Detección del análisis de señales/modelo (en la identificación particular de uno o mas eventos de descarga parcial en la posición x_i)
- d) Clasificación de la señal detectada (por ejemplo, aceptar o rechazar la señal como un evento de descarga parcial, asignando un nivel de confianza, etc.)
- e) Detección de la repetición del evento (en particular identificación de uno o más eventos de descarga parcial en la posición x_i)
- f) Cálculo de la distancia de la señal d (entre el evento identificado más temprano y el evento identificado el último)

En base al análisis de los resultados de las fases c) a f) del funcionamiento conforme a DAS el sistema puede dar al menos una alarma, que puede ser reconocida por un usuario. La información sobre la cual se basa la alarma puede ser detectada por la unidad determinante de la descarga parcial. La alarma dada puede ser un valor absoluto de los parámetros de la señal (es decir el valor medido del parámetro de la señal puede ser mayor a un umbral de alarma determinado) o quizás puede ser una velocidad de cambio del valor medido del parámetro de la señal (es decir el valor de medición de los parámetros de la señal que excede el umbral de alarma dado dentro de un intervalo de tiempo predefinido). Mas en particular, la alarma se puede basar en al menos uno de los siguientes parámetros de la señal de la información determinada: una amplitud, una distancia d, una anchura w, una densidad, y un valor de confianza. En la figura 6 se muestran la distancia d la anchura w y la amplitud de una señal ejemplo.

Para evitar falsas alarmas, se puede verificar la existencia de la necesidad de la alarma. Por ejemplo, antes de que pueda generarse la alarma, la verificación se puede realizar considerando una confirmación de un contador N, el cual en base a la implementación del contador N puede contar. Por ejemplo, el contador puede confirmar al menos N=1 o más repeticiones del evento para verificar la alarma. Si N=0 la alarma se puede generar directamente.

Cuando el dispositivo 100 se ha configurado para funcionar de acuerdo con DVS, el dispositivo 100 puede generar dos piezas de información: tipo evento y posición (es decir, posición espacial a lo largo de la extensión de la fibra 110) ambas con un nivel de confianza, y que en combinación da un evento:

- a) Clasificación de la señal detectada (por ejemplo, aceptando o rechazando la señal como un evento de descarga parcial, asignando un nivel de confianza, etc.)
- b) Detección de la repetición de este evento (es decir, detectando un evento de descarga parcial posterior en un momento posterior)
- c) Cálculo de la señal de distancia d (entre el evento identificado antes y el evento identificado después)

En base al análisis de los resultados de las fases a) a c) de la operación de acuerdo con DVS el sistema puede dar al menos una alarma, que puede ser reconocida por un usuario. La información sobre la cual se basa la alarma puede ser detectada por la unidad de determinación de la descarga parcial. La alarma dada puede ser un valor absoluto de alarma de los parámetros de la señal (y el valor medido del parámetro de la señal puede ser mayor a un umbral de alarma determinado) o puede ser una velocidad de cambio del valor medido del parámetro de la señal (es decir, el valor de medición del parámetro de la señal incrementado en más del umbral de la alarma dentro de un intervalo de tiempo predefinido). Mas en particular, la alarma se puede basar en al menos uno de los siguientes parámetros de la señal de la información determinada: una amplitud, una distancia d, una anchura w, una densidad, y un valor de confianza. En la figura 6, se ilustran la distancia d, la anchura w y la amplitud de una señal ejemplo.

Para evitar falsas alarmas, se puede verificar la existencia de la necesidad de la alarma. Por ejemplo, antes de que pueda generarse la alarma, la verificación se puede realizar considerando una confirmación de un contador N, el cual basado en la implementación del contador N pueda subir o bajar. Por ejemplo, el contador puede confirmar al menos N=1 o más repeticiones del evento para verificar la alarma. Si N=0 la alarma se puede generar directamente.

Se debería destacar que el término "que comprende" no excluye otros elementos o rasgos y el "uno" no excluye una pluralidad. Asimismo, se pueden combinar elementos descritos en asociación con diferentes configuraciones.

También se debería resaltar que los signos de referencia en las reivindicaciones no se pueden crear como limitantes del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (100) para la detección de la descarga parcial en un cable eléctrico (102), donde el dispositivo (100) comprende lo siguiente:

una fuente de radiación electromagnética (104) configurada para generar radiación electromagnética primaria (106) que se va a unir a al menos una fibra (110) estando al menos una parte de la misma alineada a lo largo y unida dinámicamente, en particular vibracionalmente, al cable eléctrico (102);
un detector de radiación electromagnética (114) configurado para detectar radiación electromagnética secundaria (108) generada en al menos una fibra (110) en respuesta a la unión de la radiación electromagnética primaria (106) a al menos una fibra (110) y que se encuentra influenciada por el movimiento local inducido por la descarga parcial, en particular las vibraciones, del cable eléctrico (102), cuyos desplazamientos locales, en particular las vibraciones, se acoplan o unen a al menos una fibra (110);
una unidad determinante de la descarga parcial (112) configurada para determinar información indicativa de la descarga parcial en el cable eléctrico (102) en base a un análisis de la radiación electromagnética (108) secundaria influenciada por los movimientos, en particular vibraciones, detectados por el detector de la radiación electromagnética (114),
un medio de blindaje para proteger al menos una fibra óptica (110) con el fin de desactivar o inutilizar la radiación electromagnética generada en el cable eléctrico (102) mediante la descarga parcial y que no se propague a al menos una fibra óptica (110);
donde la unidad determinante de la descarga parcial (112) se ha configurado para determinar la información indicativa de la descarga parcial considerando exclusivamente la influencia de los desplazamientos locales inducidos por la descarga parcial independientemente de la radiación electromagnética generada en el cable eléctrico (102) por la descarga parcial, cuya radiación electromagnética está protegida por el medio de blindaje o protección.

2. Dispositivo (100) conforme a la reivindicación 1, donde el dispositivo (100) se ha configurado para detectar la descarga parcial en el cable eléctrico (102) por Distributed Acoustic Sensing, y/o donde el dispositivo (100) se ha configurado para detectar la descarga parcial en el cable eléctrico (102) por Distributed Vibration Sensing.

3. Dispositivo (100) conforme a alguna de las reivindicaciones 1 a 2, que comprende una unidad determinante de la información sobre la temperatura (118) configurada para determinar información sobre la temperatura a lo largo de una extensión del cable eléctrico (102) por Distributed Temperature Sensing en base a un análisis de la radiación electromagnética (122) detectada en respuesta a la radiación electromagnética primaria (120) que está unida a una fibra óptica (110) estando al menos una parte de la misma alineada a lo largo del cable eléctrico (102).

4. Dispositivo conforme a la reivindicación 2 a 3, que comprende además una unidad de alarma para disponer de una alarma en base a la información indicativa de la descarga parcial.

5. Dispositivo conforme a la reivindicación 3, donde la fibra óptica (110) utilizada para determinar información indicativa de la descarga parcial y la fibra óptica (110) utilizada para determinar la información sobre la temperatura son, al menos parcialmente, la misma fibra óptica (110).

6. Dispositivo (100) conforme a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde la unidad determinante de la descarga parcial (112) se ha configurado para determinar la información indicativa de una distancia temporal (d) entre las descargas parciales subsiguientes (610, 612) en una cierta posición del cable eléctrico (102) y la fibra óptica (110) y/o

donde la unidad determinante de la descarga parcial (112) se ha configurado para determinar la información indicativa de una duración temporal (w) de una descarga parcial (610, 612) en una cierta posición del cable eléctrico (102) y de la fibra óptica (110), y/o

donde el dispositivo (100) que comprende una unidad de decisión (128) configurada para tomar una decisión dependiendo de al menos una del grupo formado por la distancia temporal determinada (d) y la duración temporal determinada (w).

7. Dispositivo (100) conforme a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde la unidad determinante de la descarga parcial (112) se ha configurado para determinar la información resuelta espacialmente, indicativa de la descarga parcial en una cierta posición del cable eléctrico(102) en base a una identificación de una cierta posición de la fibra, de la fibra óptica (110) a la que pertenece una parte detectada de la radiación electromagnética secundaria (108), basada en la información predeterminada de mapeo donde se aplican posiciones de cable a posiciones de fibra.

8. Disposición (150), que comprende:

un cable eléctrico (102);

al menos una fibra óptica (110), al menos una parte de la cual está siendo alineada a lo largo y unida dinámicamente, en particular vibracionalmente, al cable eléctrico (102);
un dispositivo (100) conforme a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 para detectar la descarga parcial en el cable eléctrico (102).

9. Disposición (150) conforme a la reivindicación 8, donde se ha dispuesto la fibra óptica (110) por separado del cable eléctrico (102) y/o donde la fibra óptica (110) y el cable eléctrico (102) están embebidos en una vaina común (152) o donde la fibra óptica (110) está embebida directamente dentro de un cable conductor del cable eléctrico (102), y/o

donde al menos parte de la fibra óptica (110) está unida acústicamente al cable eléctrico (102), y/o
donde el dispositivo protector es un revestimiento de al menos uno de los cables eléctricos (102) y la fibra óptica (110) que son opacos para la radiación electromagnética, para proteger la fibra óptica (110) de manera que se evite que la radiación electromagnética generada en el cable eléctrico (102) por la descarga parcial se propague por la fibra óptica (110) y/o donde la fibra óptica (110) sea el único tipo de fibra (110).

10. Disposición (150) conforme a las reivindicaciones 8 o 9, donde el cable eléctrico (102) es un cable multifásico que tiene múltiples sub cables, asignados cada uno de ellos a una fase respectiva, y se han dispuesto múltiples fibras ópticas (110), donde al menos una parte de cada una de las múltiples fibras ópticas (110) está alineada a lo largo de uno de los sub cables, y/o

donde el cable eléctrico (102) es un cable multifásico que tiene múltiples sub cables, cada uno de ellos asignado a una fase respectiva, y se dispone de una única fibra óptica (110), donde cada una de las secciones múltiples de la única fibra óptica (110) está alineada a lo largo de uno de los sub cables respectivos.

11. Método de detección de la descarga parcial en un cable eléctrico (102), donde el método comprende:

la unión de la radiación electromagnética primaria (106) a al menos una fibra óptica (110), donde al menos una parte de la misma está siendo alineada a lo largo y unida dinámicamente, en particular vibracionalmente, al cable eléctrico (102);

la detección de la radiación electromagnética secundaria (108) generada en al menos una fibra óptica (110) en respuesta a la unión de la radiación electromagnética primaria (106) a al menos una fibra óptica (110) y que se encuentra influenciada por el movimiento local inducido por la descarga parcial, en particular las vibraciones, del cable eléctrico (102), cuyos desplazamientos locales, en particular las vibraciones, se acoplan o unen a al menos una fibra (110);

la determinación de información indicativa de la descarga parcial en el cable eléctrico (102) en base a un análisis de la radiación electromagnética (108) secundaria detectada influenciada por los movimientos, en particular vibraciones,
donde la determinación comprende:

determinar la información indicativa de la descarga parcial considerando exclusivamente la influencia de los movimientos locales inducidos por la descarga parcial independientemente de la radiación electromagnética generada en el cable eléctrico (102) por la descarga parcial, donde dicha radiación electromagnética está protegida por un medio de blindaje para proteger al menos una fibra óptica (110) de manera que se evite la propagación de la radiación electromagnética generada en el cable eléctrico (102) por la descarga parcial por el interior de al menos una fibra óptica (110).

12. Método de uso de al menos una de los Distributed Acoustic Sensing y Distributed Vibration Sensing para detectar la descarga parcial de un cable eléctrico (102) mediante el análisis de la influencia de los movimientos locales inducidos por la descarga parcial, en particular las vibraciones, en la radiación electromagnética de al menos una fibra óptica (110), de al menos una parte de la cual está alineada y vibracionalmente unida al cable eléctrico (102),

donde se ha configurado una unidad determinante de la descarga parcial (112) para determinar una información indicativa de la descarga parcial, que considera exclusivamente la influencia de los movimientos locales inducidos por la descarga parcial independientemente de la radiación electromagnética generada en el cable eléctrico (102) por la descarga parcial, donde dicha radiación electromagnética está protegida por un medio de blindaje para proteger al menos una fibra óptica (110) de manera que se evite la propagación de la radiación electromagnética generada en el cable eléctrico (102) por la descarga parcial por el interior de al menos una fibra óptica (110);

donde el medio de blindaje se ha configurado para proteger de forma selectiva la radiación electromagnética que tiene una frecuencia de una frecuencia de medición de la radiación electromagnética primaria.

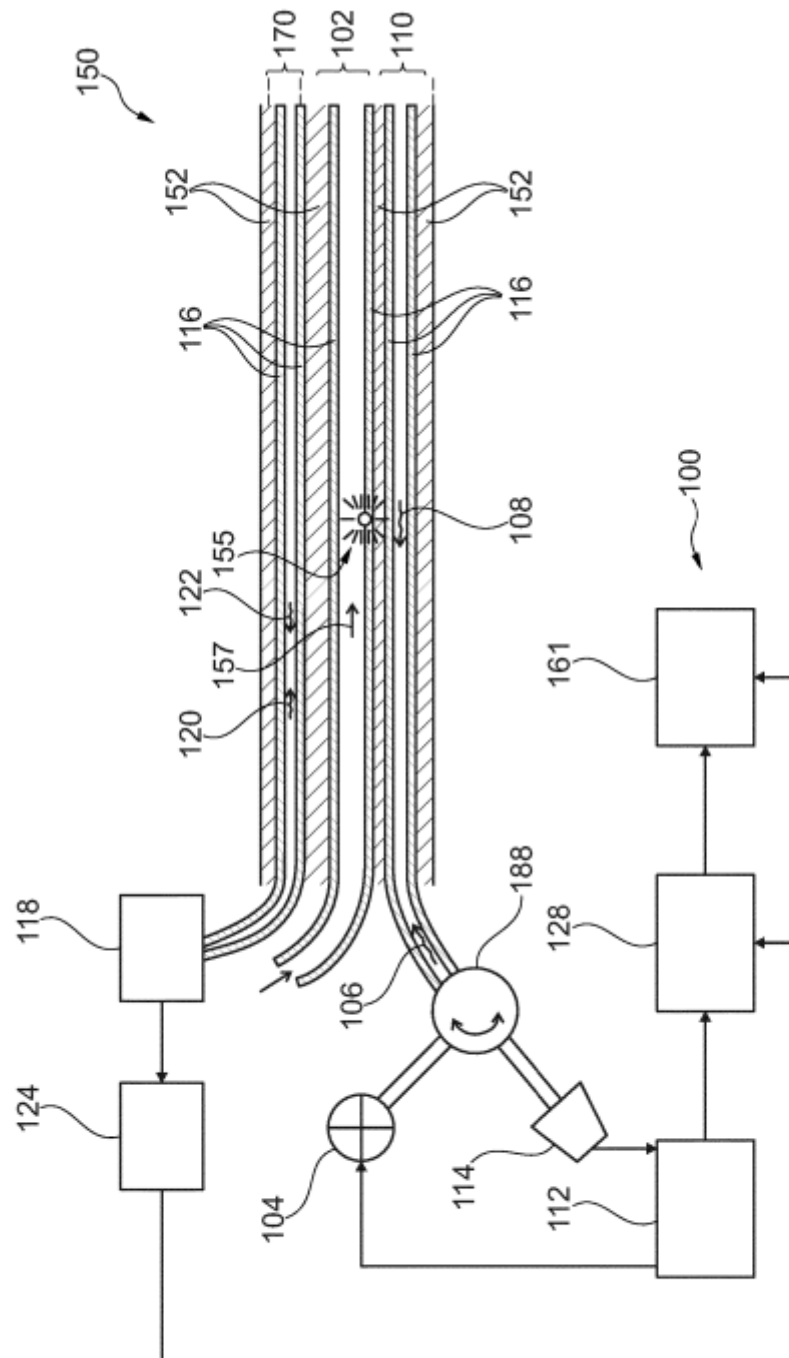


Fig. 1

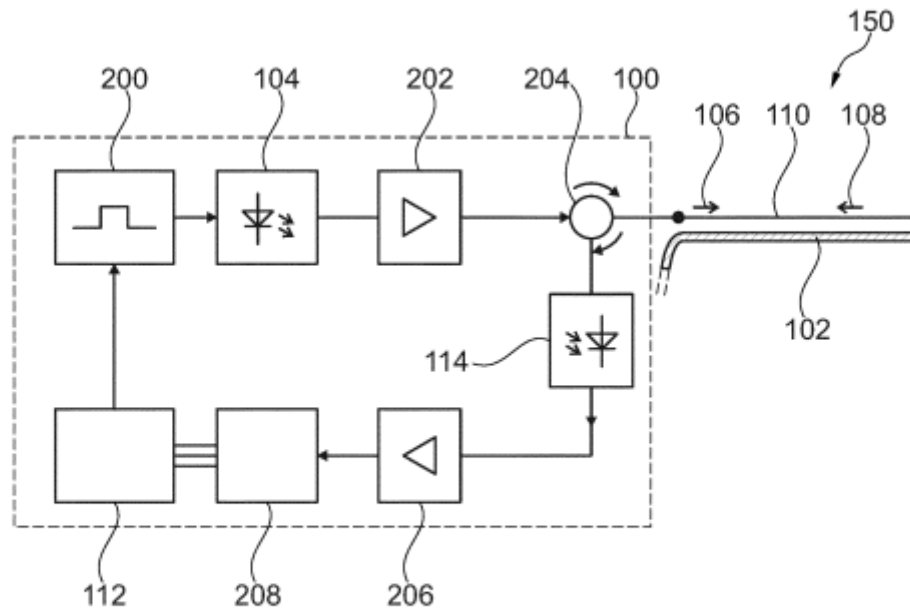


Fig. 2

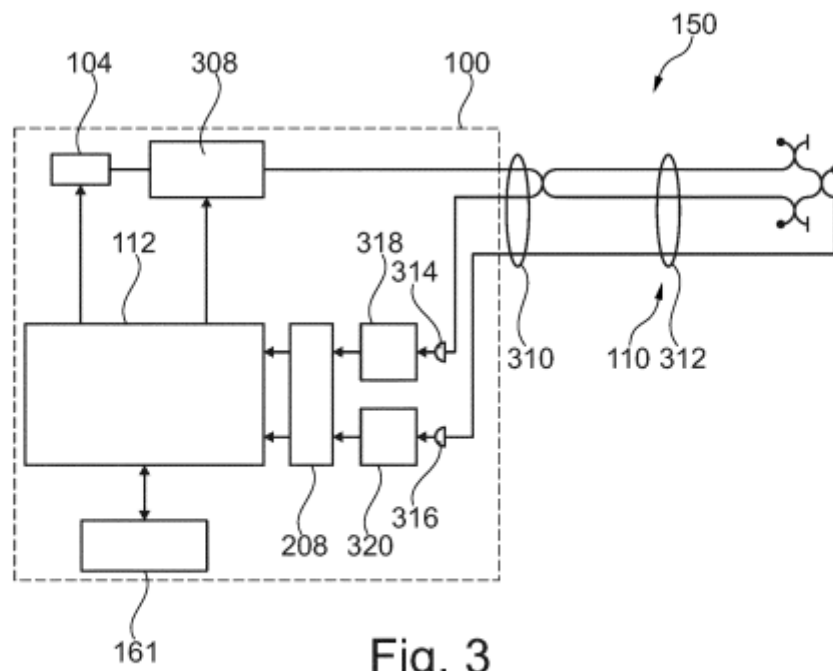


Fig. 3

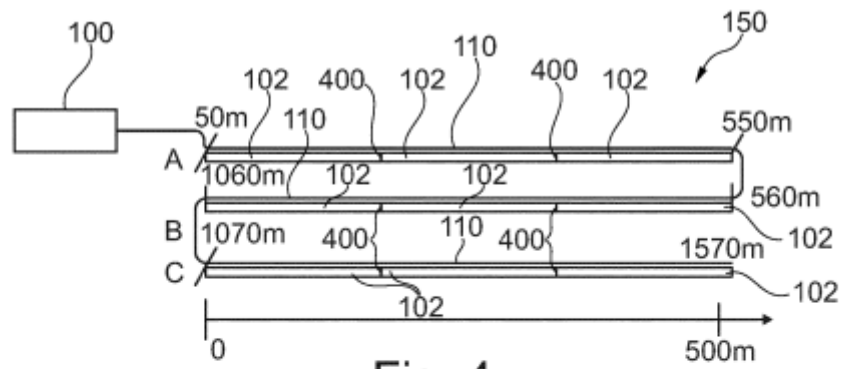


Fig. 4

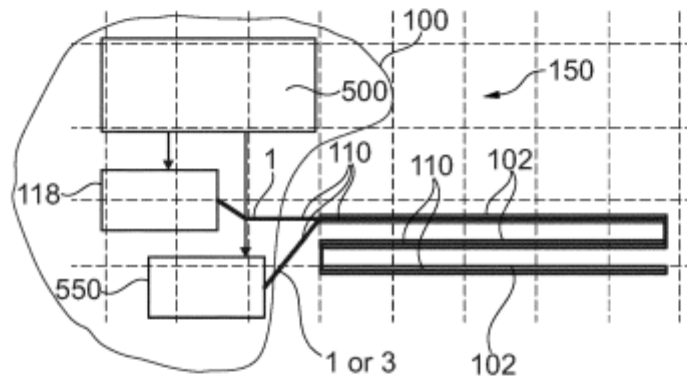


Fig. 5

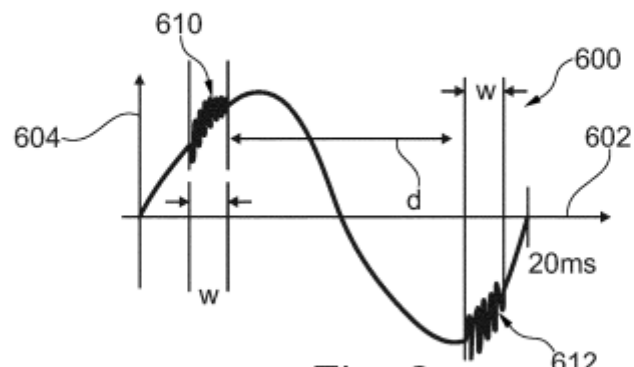


Fig. 6